

ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS PARA ESGOTAMENTO SANITÁRIO EM COMUNIDADES RURAIS: REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

DÉBORA CANDEIAS MARQUES¹, STHEFANIE VITÓRIA SOARES NOGUEIRA², ANNA VIRGÍNIA MUNIZ MACHADO³, RAPHAEL GOULART DE ALCANTARA⁴ e ANTONIO CARLOS SÁ DE GUSMÃO⁵

^{1,3 e 5}DSc. em Engenharia, Prof. Associados, UFF, Niterói-RJ, deboracandeias@id.uff.br;

²Engenheira de Recursos Hídricos e Meio Ambiente, ETEOL, Rio de Janeiro-RJ, sthefanie.eteol@vtsgroup.com.br;

⁴Engenheiro Civil, CEDAE, Rio de Janeiro-RJ, goulart.alcantara@gmail.com;

RESUMO: O acesso ao saneamento básico permanece como um dos principais desafios para o desenvolvimento sustentável, especialmente em áreas rurais, onde a ausência de infraestrutura adequada compromete a saúde da população e a conservação dos recursos naturais. A limitação dos sistemas convencionais de coleta e tratamento de esgoto faz com que muitas comunidades recorram a soluções individuais ou alternativas para o manejo dos efluentes domésticos. Nesse contexto, este estudo apresenta uma revisão bibliográfica sobre as principais tecnologias descentralizadas empregadas no tratamento de esgoto em comunidades rurais brasileiras, bem como os modelos de gestão voltados à sustentabilidade desses sistemas. A análise da literatura demonstra que o êxito dessas soluções depende não apenas da escolha da tecnologia mais apropriada, mas também da participação ativa da comunidade, do apoio institucional e da implementação de políticas públicas eficazes. Além disso, foram comparadas diferentes alternativas tecnológicas considerando aspectos relacionados à eficiência, custos de implantação, operação e manutenção. Os resultados evidenciam que a integração entre inovação tecnológica, gestão participativa e educação ambiental representa um caminho promissor para ampliar o acesso ao saneamento e melhorar as condições de vida das populações rurais.

PALAVRAS-CHAVE: Saneamento Rural; Esgotamento Sanitário; Sistemas Descentralizados; Gestão Participativa; Tecnologias Alternativas; Sustentabilidade.

TECHNOLOGICAL ALTERNATIVES FOR SANITARY SEWAGE IN RURAL COMMUNITIES: A LITERATURE REVIEW

ABSTRACT: Access to basic sanitation remains one of the greatest challenges to sustainable development, particularly in rural areas, where the lack of adequate infrastructure negatively affects public health and the conservation of natural resources. The limited availability of conventional sewage collection and treatment systems leads many rural communities to rely on individual or alternative solutions for managing domestic wastewater. In this context, this study presents a literature review of the main decentralized technologies used for wastewater treatment in Brazilian rural communities, as well as the management models aimed at ensuring the sustainability of these systems. The literature review indicates that the success of these solutions depends not only on selecting the most appropriate technology but also on active community participation, institutional support, and the implementation of effective public policies. Furthermore, different technological alternatives were compared in terms of treatment efficiency, installation costs, operation, and maintenance requirements. The findings demonstrate that integrating technological innovation, participatory management, and environmental education represents a promising strategy for expanding access to sanitation services and improving the quality of life of rural populations.

KEYWORDS: Rural Sanitation; Sanitary Sewage; Decentralized Systems; Participatory Management; Alternative Technologies; Sustainability.

INTRODUÇÃO

O saneamento básico é reconhecido como um elemento indispensável para a promoção da saúde pública, da qualidade ambiental e do desenvolvimento sustentável. Entretanto, em diversas comunidades rurais brasileiras, a oferta dos serviços de esgotamento sanitário ainda é insuficiente, fazendo com que milhões de pessoas dependam de soluções individuais ou coletivas para o tratamento dos efluentes domésticos. Em muitos casos, essas alternativas são inadequadas, como fossas rudimentares e lançamentos diretos em valas ou corpos d'água, contribuindo para a degradação ambiental e aumentando os riscos à saúde da população (IPEA, 2020; TONETTI et al., 2018).

A implantação de sistemas convencionais de coleta e tratamento de esgoto em áreas rurais enfrenta diversos obstáculos, entre eles a dispersão das moradias, a distância entre as propriedades, as limitações financeiras dos municípios e a carência de infraestrutura. Diante desse cenário, os sistemas descentralizados têm sido considerados alternativas viáveis, pois permitem que o tratamento ocorra próximo ao local de geração dos efluentes, reduzindo custos de implantação e possibilitando soluções mais compatíveis com as características de cada comunidade (MESQUITA et al., 2021; TCHOBANOGLOUS; LEVERENZ, 2013).

Além da adoção de tecnologias adequadas, a sustentabilidade desses sistemas depende da participação efetiva da população em todas as etapas do processo, desde o planejamento até a operação e a manutenção. A gestão participativa fortalece o envolvimento das comunidades, amplia o controle social e favorece a continuidade das ações de saneamento. Nesse contexto, programas nacionais destinados ao saneamento rural destacam a importância da atuação conjunta entre moradores, associações comunitárias, órgãos públicos e instituições técnicas, bem como da educação sanitária para estimular práticas adequadas e fortalecer a gestão local (BRASIL, 2022; TONETTI et al., 2018).

Diante dessa realidade, este trabalho tem como objetivo realizar uma revisão bibliográfica sobre as principais tecnologias descentralizadas aplicadas ao tratamento de esgoto em comunidades rurais, além de discutir modelos de gestão participativa e políticas públicas voltadas ao saneamento rural. São abordadas alternativas como tanques sépticos, fossas sépticas biodigestoras, filtros anaeróbios, reatores UASB, tanques de evapotranspiração e *wetlands* construídos, analisando suas características, vantagens, limitações e possibilidades de aplicação. Busca-se demonstrar que a integração entre tecnologias apropriadas, participação comunitária e políticas públicas representa um caminho essencial para ampliar o acesso ao saneamento básico e promover o desenvolvimento sustentável nas comunidades rurais brasileiras.

MATERIAL E MÉTODOS

O presente estudo consiste em uma revisão bibliográfica de caráter exploratório, elaborada a partir da identificação, seleção e análise crítica de publicações relacionadas ao esgotamento sanitário em comunidades rurais. Para estruturar a pesquisa, foram adotados os princípios do método **PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses)**, aliados às etapas metodológicas descritas por Gil (2008), compreendendo a definição do tema, levantamento bibliográfico, seleção das fontes, organização das informações e análise dos resultados (GIL, 2008).

A busca das referências foi realizada nas bases de dados **Periódicos CAPES, SciELO, Scopus e Elsevier**, utilizando descritores em português e inglês, entre eles: *saneamento rural, tratamento de esgotos, sistemas descentralizados, gestão de saneamento, rural sanitation, sewage treatment, decentralized systems, sanitation management e economic viability*. Foram considerados artigos científicos, dissertações, teses, livros e documentos técnicos que abordassem tecnologias e modelos de gestão voltados ao saneamento rural.

Após a seleção das publicações, realizou-se uma análise comparativa dos aspectos técnicos, operacionais, legais e econômicos relacionados aos sistemas de tratamento de esgoto. Também foram avaliadas as potencialidades, limitações e possibilidades de aplicação das principais tecnologias

descentralizadas utilizadas em comunidades rurais brasileiras, buscando identificar soluções compatíveis com as diferentes realidades encontradas no país (GIL, 2008).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A revisão da literatura evidencia que a deficiência do saneamento básico nas áreas rurais brasileiras permanece como um importante problema de saúde pública e de preservação ambiental. A inexistência ou insuficiência de sistemas adequados de tratamento de esgoto favorece a contaminação do solo e dos recursos hídricos, além de contribuir para a disseminação de doenças relacionadas à água. Em muitas localidades, a própria população assume a responsabilidade pela implantação e manutenção de soluções individuais ou comunitárias, reforçando a necessidade de tecnologias simples, eficientes e adaptadas às condições locais.

A escolha do sistema de tratamento deve considerar fatores ambientais, sociais, técnicos e econômicos. Entre as alternativas mais utilizadas destacam-se as fossas absorventes, os tanques sépticos, as fossas sépticas biodigestoras, os filtros anaeróbios, os reatores anaeróbios de fluxo ascendente (UASB), os tanques de evapotranspiração e os *wetlands* construídos. Cada tecnologia apresenta características específicas relacionadas à eficiência do tratamento, facilidade de operação, necessidade de manutenção, disponibilidade de área e custos de implantação, indicando que não existe uma solução universal para todas as comunidades (TONETTI et al., 2018).

Os sistemas convencionais, como fossas absorventes e tanques sépticos, apresentam baixo custo de implantação e manutenção, sendo amplamente empregados em áreas rurais. Entretanto, possuem limitações quanto à remoção de poluentes. Em contrapartida, tecnologias como fossas biodigestoras, filtros anaeróbios, reatores UASB e *wetlands* construídos proporcionam maior eficiência no tratamento dos efluentes, podendo ainda favorecer a produção de biogás e o aproveitamento de nutrientes. Apesar dessas vantagens, demandam maior conhecimento técnico para implantação e acompanhamento operacional (TONETTI et al., 2018).

Outro aspecto relevante identificado na literatura refere-se à viabilidade econômica das tecnologias disponíveis. Os custos variam conforme o tipo de sistema, o volume de esgoto gerado, as características do solo e a necessidade de manutenção periódica. A participação da comunidade durante a construção e conservação das estruturas pode reduzir significativamente os custos operacionais. Além disso, o reaproveitamento agrícola do lodo tratado representa uma alternativa capaz de diminuir despesas e agregar benefícios ambientais. A Fundação Nacional de Saúde (FUNASA) também apresenta orientações para o manejo adequado do lodo em sistemas descentralizados (BRASIL, 2014).

Os estudos analisados demonstram que grande parte dessas tecnologias pode operar com baixo consumo de energia e reduzida necessidade de mão de obra especializada, desde que os usuários recebam capacitação adequada. Sistemas como tanques sépticos e filtros anaeróbios destacam-se pela simplicidade operacional, enquanto reatores UASB, *wetlands* construídos, tanques de evapotranspiração e fossas biodigestoras exigem acompanhamento técnico mais frequente. Dessa forma, a qualificação dos gestores locais e o suporte de instituições especializadas são fatores determinantes para garantir o funcionamento adequado das unidades de tratamento.

Além dos aspectos tecnológicos, a literatura reforça que a gestão participativa exerce papel decisivo para a sustentabilidade dos sistemas de saneamento rural. Embora a legislação brasileira incentive a participação social na formulação e no acompanhamento das políticas públicas de saneamento (BRASIL, 2007), sua efetiva implementação ainda representa um desafio. A atuação conjunta entre comunidades, órgãos públicos, universidades e instituições de pesquisa fortalece o planejamento, amplia a aceitação social das tecnologias e contribui para a continuidade dos serviços (IPEA, 2020).

Os estudos de caso também demonstram resultados positivos decorrentes da adoção de soluções descentralizadas. Experiências conduzidas pelo Instituto Nacional do Semiárido (INSA), em parceria com a Universidade Federal de Campina Grande (UFCG) e o Programa de Aplicação de Tecnologias

Apropriadas (PATAC), evidenciaram elevada eficiência na remoção de matéria orgânica e microrganismos patogênicos, além de permitir o reúso agrícola do efluente tratado, reduzindo o consumo de água e fertilizantes (MAYER et al., 2020). Da mesma forma, o modelo dos Sistemas Integrados de Saneamento Rural (SISAR) demonstra que a gestão comunitária favorece a continuidade operacional dos sistemas (SILVA et al., 2019). Estudos sobre análise do custo do ciclo de vida também indicam que essa ferramenta auxilia na escolha das alternativas tecnológicas mais sustentáveis ao longo do tempo (PERONDI et al., 2020).

CONCLUSÃO

A universalização do saneamento básico nas comunidades rurais depende da adoção de soluções compatíveis com as condições locais, uma vez que, em muitas situações, a implantação de sistemas centralizados é técnica e economicamente inviável. Nesse contexto, as tecnologias descentralizadas representam alternativas eficientes para ampliar o acesso ao tratamento de esgoto, desde que sejam selecionadas considerando as características ambientais, sociais e econômicas de cada comunidade.

Os resultados desta revisão demonstram que não existe uma única tecnologia capaz de atender todas as realidades do meio rural. A escolha do sistema mais adequado deve considerar fatores como custo de implantação, facilidade de operação, necessidade de manutenção, disponibilidade de área e capacidade técnica dos responsáveis pela gestão.

Outro aspecto fundamental refere-se ao envolvimento da comunidade. A participação dos moradores no planejamento, implantação e manutenção das estruturas fortalece a gestão dos sistemas, amplia sua aceitação e favorece a continuidade das ações de saneamento. Da mesma forma, o apoio do poder público, das instituições de pesquisa e das políticas públicas contribui para a consolidação de soluções mais eficientes e sustentáveis.

Por fim, conclui-se que a integração entre tecnologias apropriadas, gestão participativa, educação ambiental e investimentos públicos constitui um dos principais caminhos para ampliar o acesso ao saneamento básico nas áreas rurais brasileiras. Além disso, o diagnóstico socioeconômico e ambiental de cada localidade deve anteceder a implantação dos sistemas, garantindo que as soluções adotadas atendam às necessidades da população e promovam melhorias efetivas na qualidade de vida e na preservação ambiental.

REFERÊNCIAS

BRASIL. Lei nº 11.445, de 05 de janeiro de 2007. **Diário Oficial da União. Casa Civil**, Brasília, DF, 05 jan. 2007.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Fundação Nacional de Saúde. Operação e manutenção de tanques sépticos-lodo: manual de boas práticas e disposição do lodo acumulado em filtros plantados com macrófitas e desinfecção por processo térmico** / Ministério da Saúde, Fundação Nacional de Saúde. – Brasília: Funasa, 2014

BRASIL. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. **Apoio a gestão dos sistemas de saneamento básico** / Ministério da Saúde, Fundação Nacional de Saúde. Brasília: Funasa, 2022. Disponível em: <<https://www.funasa.gov.br/web/guest/apoio-a-gestao-dos-sistemas-de-saneamento-basico>>. Acesso em 02 out 2023

GIL, A. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

IPEA. **Gestão comunitária da água cria alternativas para o saneamento rural**. [Internet]. Brasília: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada; 2020.

MAYER, C., Mateus; MEDEIROS, Salomão; BATISTA, Medeiros Mariana; BARBOSA, Rodrigo; LAMBAIS, George; SANTOS, Silvânia; HAANDEL, Adianus. (2021). **Tratamento de esgoto na zona rural visando ao reúso agrícola no semiárido brasileiro**. Revista DAE. 69. 104-114. 10.36659/dae.2021.023.

MESQUITA, Tayane Cristiele Rodrigues; ROSA, André Pereira; Gomes, Uende Aparecida Figueiredo; Borges, Alisson Carraro. **Gestão descentralizada de soluções de esgotamento sanitário no Brasil: aspectos conceituais, normativos e alternativas tecnológicas**. Desenvolvimento e Meio Ambiente, [S.L.], v. 56, p. 46-66, 26 mar. 2021. Universidade Federal do Paraná.

PERONDI, T.; WOLFF, D. B.; DECEZARO, S. T.; ARAÚJO, R. K. de. **Wetlands construídos para o tratamento de esgoto doméstico: uma análise comparativa do custo do ciclo de vida**. Ambiente Construído, v. 20, n. 2, p. 175–189, abr. 2020.

PNAD. **Pesquisa nacional por amostra de domicílios: síntese de indicadores 2013**. 2. ed. Rio de Janeiro: Ibge, 2015. 296 p.

PSBR – Programa Saneamento Brasil Rural. Brasília: Funasa, 2019.

SILVA, Anderson Gomes da. **Proposição de técnicas e modelos de gestão para o esgotamento sanitário em áreas rurais brasileiras**. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Minas Gerais / Anderson Gomes da Silva. – 2017. xiii, 218 f., enc.: il

SILVA, B. B. et al. **Evidenciando experiências positivas em saneamento básico: visões do Programa Nacional de Saneamento Rural (PNSR)**. Revista DAE. Edição Especial Saneamento Rural, 220, v. 67, p. 69-86. São Paulo, 2019

TCHOBANOGLIOUS, G.; LEVERENZ, H. 2013. Chapter 8. **The rationale for decentralization of wastewater infrastructure**. In: Larsen, T. A.; Udert, K. M; Lienert, J. Source Separation and decentralization for wastewater management. IWA Publishing.

TONETTI, A. L.; Brasil, A.; Madrid, F.; Figueiredo, I.; Schneider, J.; Cruz, L.; Duarte, N. G.; Fernandes, P. M.; Coasaca, R. L.; Garcia, R. S.; Magalhães, T. M. **Tratamento de esgotos domésticos em comunidades isoladas: referencial para a escolha de soluções**. Campinas: Biblioteca/Unicamp, 2018.

VALE, G. B. do.; RUGGERI, H. C.; SCALIZE, P. S. (2022). **Service and precariousness of sanitary sewage in rural communities in the state of Goiás, Brazil**. *Engenharia Sanitaria E Ambiental*, 27(6), 1067–1075. <https://doi.org/10.1590/S1413-415220220160>